

Simulação em um trecho singelo de uma malha ferroviária utilizando o *software* Arena

Kívia Carolina Fonseca Campos (UFOP) – kiviacfc@yahoo.com.br
Irce Fernandes G. Guimarães (UFOP) – ircegui@ig.com.br
Alexandre Xavier Martins (UFOP) – smartins@iceb.ufop.br

Resumo

O presente trabalho apresenta o resultado da simulação de um trecho singelo de uma malha ferroviária de uma empresa do setor de mineração, que também atua no setor ferroviário. O estudo da capacidade de uma malha ferroviária pode ser feito utilizando várias técnicas, entre elas, Teoria das Filas e Simulação. Neste estudo, optou-se por analisar tal capacidade utilizando a simulação por meio do software Arena 5.0. O modelo de simulação estudado possibilitou a identificação do melhor cenário que representa a maior capacidade de utilização de uma linha férrea e, também, a inclusão de um novo subtrecho.

Palavras-chave: *Simulação, Malha ferroviária, Capacidade de Malha.*

1- Introdução

A utilização do modal ferroviário começou a perder espaço para o modal rodoviário a partir da década de 50, com a ampliação da malha rodoviária brasileira. Com a privatização do setor ferroviário, na década de 90, alguns trechos da malha ferroviária foram desativados, o que proporcionou o aumento da utilização do modal rodoviário.

De acordo com Bertaglia (2005), a indústria ferroviária não tem recebido, nos últimos anos, inovações tecnológicas na mesma velocidade que a indústria da aviação e o transporte rodoviário. Tal fato pode ser justificado pela característica própria do setor ferroviário em transportar produtos que são *commodities*, a baixo custo e não apresentar muita flexibilidade de operação.

A reforma ou a ampliação de uma malha ferroviária requer elevados investimentos de infra-estruturas, devido ao estado precário de conservação que alguns trechos se encontram.

Para Leilich (1998), as estradas de ferro estão passando por um aumento de capacidade em relação ao aumento de suas operações, com o objetivo de ampliar a confiabilidade de seus serviços e reduzir o tempo de viagem. Os gerenciadores de estradas de ferro têm utilizado recursos de modelos de simulação para conseguir mais opções de tráfego ou encontrar caminhos que possam ampliar a capacidade das estradas, objetivando o baixo custo de operação.

Segundo Guimarães (2005), a capacidade de tráfego de trens em uma malha ferroviária pode ser analisada com base na capacidade teórica, no número máximo de trens que podem percorrer um determinado trecho, e com base na capacidade prática. A última refere-se à habilidade de combinar o trecho a ser percorrido com o tráfego e as operações da linha, a fim de transportar o maior número de trens possível. Porém, existem técnicas mais eficientes que permitem uma melhor visualização do problema. Um exemplo é o uso da Simulação, uma das técnicas da Pesquisa Operacional que possibilita a criação de vários cenários a partir do cenário real. Tal fato permite fazer mudanças no cenário real e ir ajustando o mesmo, conforme as expectativas do usuário, até atingir o cenário desejado.

Shamblin et. al. (1989) destaca que a Pesquisa Operacional é uma técnica de tomada de decisão criada por grupos interdisciplinares de cientistas, durante a Segunda Guerra Mundial, que tinham necessidade de resolver problemas estratégicos e táticos referentes à administração militar.

Para Bancks et. al. (2001), a simulação é uma representação de um processo do mundo real. Ela envolve a geração de um sistema artificial e, através da observação deste sistema são retiradas as conclusões a respeito das características de operação do sistema real.

“Simulação é a técnica de solução de um problema pela análise de um modelo que descreve o comportamento do sistema usando um computador digital.” (PRADO, 1999). Segundo Shain (1999) as principais técnicas usadas para tratar o problema de otimização de capacidade de linha férrea estão categorizadas em três grupos, que são: simulação, programação matemática e sistemas especializados. Alguns autores apresentaram alguns métodos, dentre eles está Krueger (1999), que desenvolveu um modelo paramétrico para o planejamento de capacidade de linha visando melhorar a sua utilização pela medida e monitoramento da capacidade do sistema.

Outra forma de abordar o problema de capacidade de linha férrea é através da Teoria das Filas, método este estudado por Guimarães (2005). Este estudo apresenta uma análise de capacidade de uma malha ferroviária utilizando o modelo Teoria das Filas em trechos singelos. Tais trechos podem ser denominados como trechos sem bifurcações que operam no sentido de exportação (da empresa para o porto marítimo) e no sentido de importação (do porto marítimo para a empresa), permitindo a passagem de apenas um trem, independente do sentido de movimentação.

Baseando nos autores acima, este estudo propõe uma simulação em um trecho singelo de malha ferroviária. Este estudo visa estimar o tempo médio e o tempo máximo de espera, o número máximo de trens na fila e o número total de viagens nos sentidos exportação e importação.

Este trabalho está organizado como segue. Na seção 2 descreve-se o método simulação computacional utilizado neste estudo. Nas seções 3 faz-se uma breve descrição do problema, apresenta-se a coleta de dados e a descrição dos cenários. Na seção 4 mostra-se a avaliação dos cenários. Enquanto na seção 5 o trabalho é concluído.

2. Simulação Computacional

Metodologia é o conjunto caminhos que são percorridos na busca do conhecimento (ANDRADE, 2003). Um projeto de simulação é constituído de um conjunto de etapas sequenciais de natureza cíclica; ou seja, repetem-se as etapas anteriores quando novos dados que invalidam as premissas antigas são descobertas (PRADO, 2004).

Segundo Prado (2004), um projeto de simulação bem sucedido deve satisfazer necessidades como satisfazer clientes/usuários; resolver o problema proposto; gastar um tempo aceitável para ser resolvido, ter um custo aceitável, ser bem documentado e aceitar alterações de dados do cenário sem alterar no código.

Segundo Andrade (2000), um trabalho de simulação pode ser desenvolvido segundo as etapas ilustradas na Figura 1.

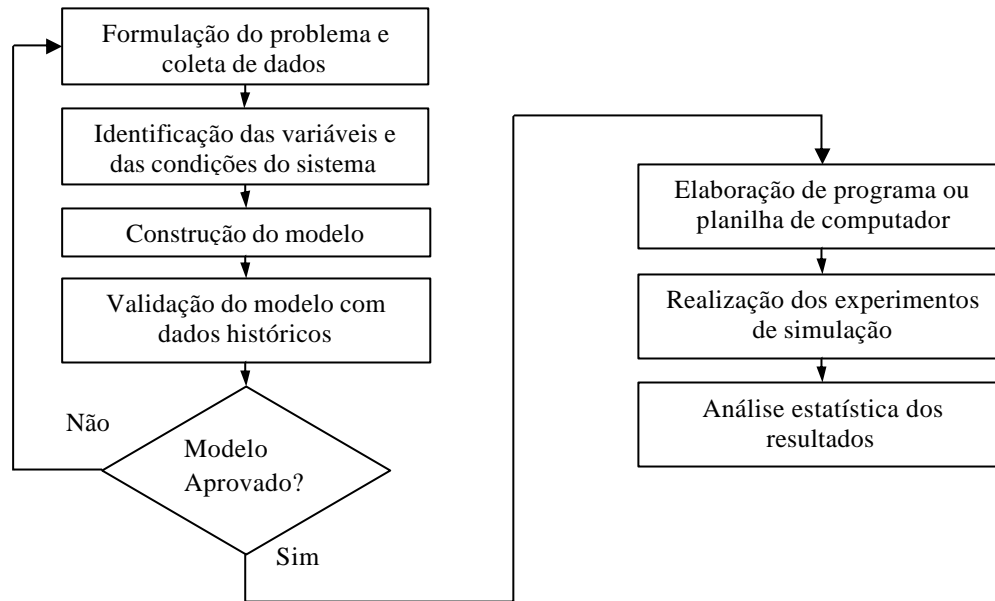


Figura 1 - Etapas de elaboração de uma simulação

3. O Sistema em Estudo

O estudo de caso foi conduzido em um trecho de uma malha ferroviária. Este trecho pertence a uma empresa do setor de mineração, que também atua no setor de transporte ferroviário, dedicada ao transporte de cargas a pequenas e longas distâncias, composta de um trecho singular, ou seja, um trecho sem bifurcação onde existe apenas uma linha que é compartilhada por trens que viajam em sentidos opostos. Existem dois pontos de acesso para entrada e saída do sistema. Entre estes pontos estão os pátios de espera e os subtrechos. Denomina-se de subtrechos os fragmentos de linha entre os pontos de acesso e o pátio subsequente e entre um pátio e outro. Foram criados vários cenários de maneira a identificar o melhor, o qual representa a capacidade ideal do trecho da malha ferroviária estudada.

A malha ferroviária estudada apresenta 13 subtrechos que contém 15 pátios. Os pátios são denominados locais de espera, que permitem a permanência de um ou mais trens estacionados nos mesmos, quando um ou outro trem percorre o subtrecho em sentido contrário. O trecho estudado é percorrido por trens que possuem 40 vagões destinados ao transporte de minério de ferro.

A Figura 2 representa um trecho singular de malha ferroviária. Verifica-se que o sistema tem apenas dois acessos para entrada e saída, e que os subtrechos são os percursos entre um pátio e outro.

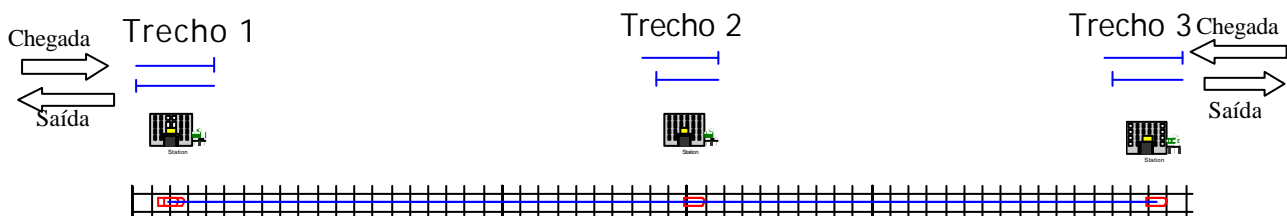


Figura 2 - Um trecho de malha ferroviária

A presença desses pátios é necessária, visto que, a linha não apresenta bifurcações que permitam a movimentação de dois trens lado a lado. Por isso, consideram-se dois sentidos de

viagens: exportação e importação. O sentido “exportação” é interpretado como o sentido de viagem que o trem realiza de uma determinada empresa, considerada origem, para o porto marítimo, considerado destino. Já o sentido “importação”, é interpretado como o sentido de viagem que o trem realiza do porto marítimo, aqui considerado origem, para a empresa, aqui considerada como destino.

3.1 Coleta de dados

Os dados foram fornecidos pela empresa que gerencia as operações da malha ferroviária estudada. Com base nos mesmos, foram feitos os tratamentos estatísticos, de modo a fornecer a melhor distribuição estatística que represente os tempos de atravessamento em cada um dos 13 trechos. Os dados sofreram um ajuste onde se utilizou o *software Minitab 14* com o intuito de retirar os dados que apresentavam valores muito distantes da média, conhecidos como *outliers*. As distribuições estatísticas foram obtidas por meio do *Input Analyser*, uma ferramenta do *software Arena 5.0*, o qual converte os dados coletados em distribuições estatísticas.

3.2 Descrição dos cenários

Em todos os cenários analisados considerou-se que o número de trens que chegam no intervalo de tempo é igual a dois. Os 3 últimos cenários foram baseados no trabalho de Guimarães (2005). Considerou-se para todos os cenários um período de simulação de 380 dias com 20 dias de aquecimento. A jornada de trabalho considerada é de 24 horas por dia.

Para o primeiro cenário considerou-se que chega um trem a cada 60 minutos. Já para o segundo cenário, foi considerada a chegada de um trem a cada 30 minutos, ou seja, chegam-se dois trens a cada uma hora. Em relação ao terceiro cenário, considerou-se a chegada de um trem a cada 45 minutos, ou seja, chegam-se dois trens a cada 1h e 30 min. Para o quarto cenário, foi considerada a chegada de um trem chega a cada 88 minutos. Já para o quinto cenário, chega-se um trem a cada 102 minutos, ou seja, a cada 1h e 42 min chega um. E, em relação ao último cenário, considerou-se a de um trem a cada 145 minutos, ou seja, a cada 2h e 25 min chega um trem. Considerou-se estes cenários para 13 subtrechos e para 14 subtrechos, lembrando que o intervalo de chegada de trens é o mesmo nos dois sentidos da linha férrea, tanto para exportação quanto para importação.

4. Avaliação dos cenários

Os resultados computacionais foram adquiridos a partir de dados históricos referentes a tempos de viagem entre pátios de um trecho de uma malha ferroviária da empresa em estudo. Tal trecho não possui bifurcações e nele existem 13 pátios de cruzamento, sendo que cada pátio tem capacidade para apenas um trem.

Os testes dos cenários foram rodados no *software Arena 5.0* em um computador Athlon XP 2800 (aproximadamente 2,1 GHz), com 512 MB de RAM sob plataforma Windows XP Professional.

Para cada cenário estudado analisou-se o tempo médio e o tempo máximo de espera, o número máximo de trens na fila e o número total de viagens nos sentidos exportação e importação. A Tabela 1 apresenta os resultados da análise dos cenários apresentados anteriormente e descritas abaixo.

| Cenário | Sentido | 13 subtrechos | | 14 subtrechos | | | |
|---------|-------------|-----------------------------------|-----------------------------|--------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------|--------------------------------|
| | | Número total de viagens em um ano | Tempo médio de viagem (min) | Número máximo de trens na fila | Número total de viagens em um ano | Tempo médio de viagem (min) | Número máximo de trens na fila |
| 1 | Exp. | 8640 | 372 | 4 | 8640 | 376 | 3 |
| | Imp. | 8641 | 395 | 4 | 8641 | 384 | 3 |
| 2 | Exp. | 17281 | 413 | 10 | 17283 | 418 | 9 |
| | Imp. | 17282 | 428 | 60 | 17276 | 401 | 15 |
| 3 | Exp. | 11522 | 389 | 5 | 11521 | 393 | 5 |
| | Imp. | 11519 | 402 | 6 | 11519 | 392 | 5 |
| 4 | Exp. | 5891 | 360 | 2 | 5891 | 359 | 2 |
| | Imp. | 5891 | 366 | 2 | 5891 | 372 | 2 |
| 5 | Exp. | 5081 | 341 | 2 | 5082 | 345 | 2 |
| | Imp. | 5083 | 364 | 2 | 5083 | 356 | 2 |
| 6 | Exp. | 3575 | 343 | 1 | 3575 | 333 | 1 |
| | Imp. | 3575 | 364 | 1 | 3575 | 342 | 1 |

Fonte: Elaborado pelos autores e baseado nas simulações.

Tabela 1 - Análise dos cenários

O cenário 2 apesar de apresentar o maior número de viagens que os demais cenários é inviável, pois necessitaria de pátios com capacidade para, aproximadamente, sessenta trens. Mesmo com a inclusão de um novo subtrecho, pôde-se observar que o cenário continua inviável, pois necessitaria de pátios com capacidade para quinze trens.

O cenário 3 é o que apresenta a maior capacidade de utilização de um trecho singelo de uma malha ferroviária por apresentar o maior número de viagens em relação aos cenários restantes e, também, por apresentar um número máximo de trens na fila menor ou igual a seis trens, como pode ser visualizado na Figura 3. O tempo médio de espera na fila variou de 6h e 29 min à 6h e 29 min no sentido exportação, conforme ilustra a Figura 4, e 6h e 42 min à 6h e 32 min no sentido importação, conforme é apresentado na Figura 5.

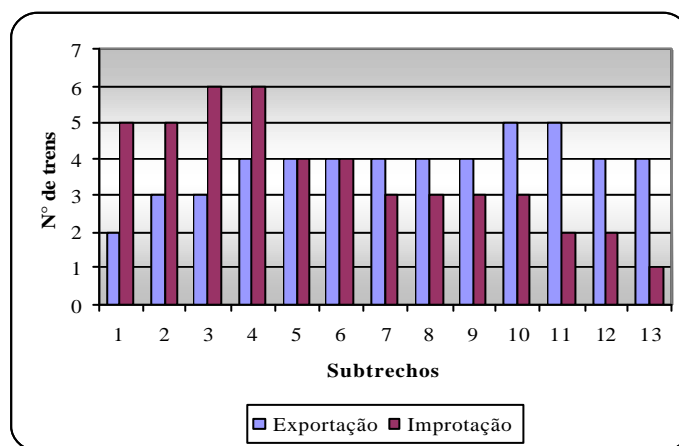


Figura 3 - Número máximo de trens na fila nos dois sentidos de movimentação – Cenário 3

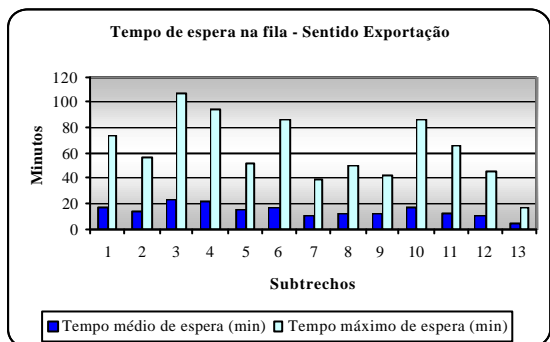


Figura 4 - Tempo de espera na fila – Sentido Exportação – Cenário 3

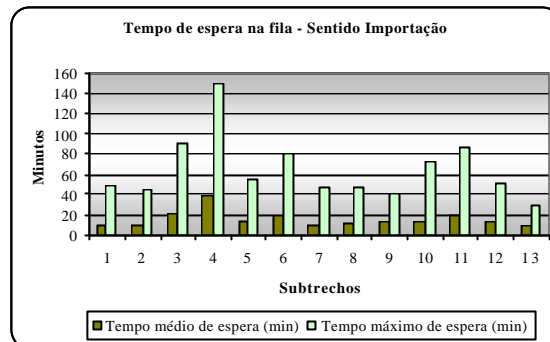


Figura 5 - Tempo de espera na fila – Sentido Importação – Cenário 3

Após a análise dos cenários com 13 subtrechos, identificou-se que o subtrecho quatro como o gargalo do sistema, sendo que este começa no sentido importação do subtrecho três e permanecia por todo o subtrecho quatro, nos dois sentidos. Com base nessa análise, sugeriu-se a inclusão de um novo pátio no subtrecho quatro, dividindo-o em dois subtrechos.

Em relação à inclusão de um novo subtrecho, pode-se observar que em relação ao número de viagens, tanto no sentido exportação quanto importação, não houve alterações significativas. Mas em relação ao número máximo de trens na fila, houve uma melhora em alguns trechos, como pode ser visualizado na Tabela 2 e na Figura 6. Já em relação ao tempo máximo e ao tempo médio de espera na fila ocorreram melhoras significativas em alguns subtrechos e em outros onde houve piora, conforme é mostrado nas Figuras 7 e 8. Tais fatos ocorreram em todos os cenários analisados.

| Cenário | Diferenças entre os trechos (%) | | |
|---------|-----------------------------------|-----------------------|--------------------------------|
| | Número total de viagens em um ano | Tempo médio de viagem | Número máximo de trens na fila |
| 1 | 0,00 | 1,07 | - 25,00 |
| | 0,00 | - 2,78 | - 25,00 |
| 2 | 0,01 | 1,21 | - 10,00 |
| | - 0,03 | - 6,31 | - 75,00 |
| 3 | - 0,01 | 1,03 | 0,00 |
| | 0,00 | - 2,55 | - 16,67 |
| 4 | 0,00 | - 0,28 | 0,00 |
| | 0,00 | 1,64 | 0,00 |
| 5 | 0,01 | 1,17 | 0,00 |
| | 0,00 | - 2,20 | 0,00 |
| 6 | 0,00 | - 2,92 | 0,00 |
| | 0,00 | - 6,04 | 0,00 |

Fonte: Elaborado pelos autores e baseado nas simulações

Tabela 2 - Análise percentual dos cenários

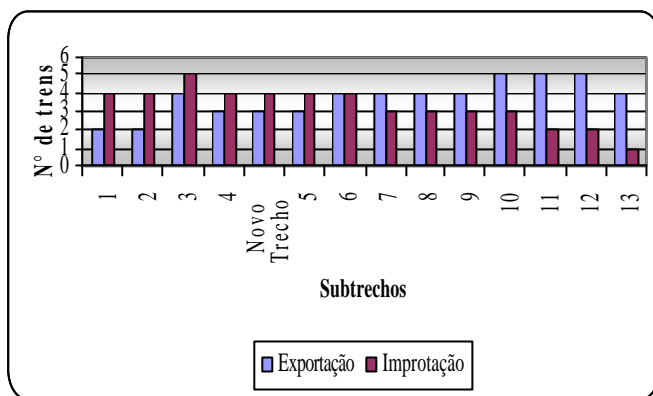


Figura 6 - Número máximo de trens na fila nos dois sentidos de movimentação – Cenário 3

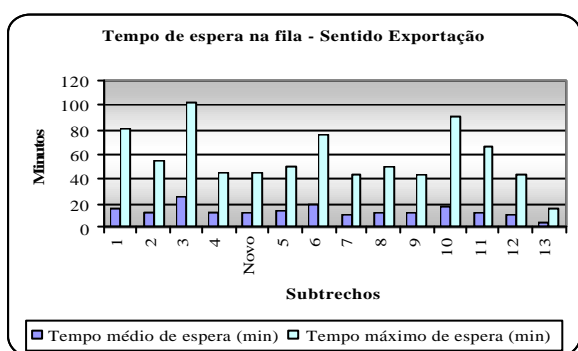


Figura 7 - Tempo de espera na fila – Sentido Exportação – Cenário 3

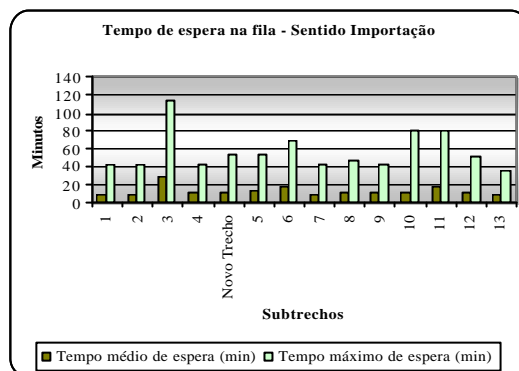


Figura 8 - Tempo de espera na fila – Sentido Importação – Cenário 3

5. Conclusão

Neste trabalho fez-se o estudo de um modelo de simulação para analisar a capacidade de um trecho singelo de uma malha ferroviária. O trecho em questão é dividido em 13 subtrechos, sendo que cada um destes possui um pátio de estacionamento, onde os trens permanecem enquanto o subtrecho está sendo percorrido por outro trem em sentido contrário. O tipo de trem que percorre o trecho em questão é composto por uma locomotiva e 40 vagões que transportam minério de ferro.

A partir de um cenário ideal, chegada de um trem a cada uma hora nos dois sentidos de movimentação, analisou-se outros possíveis cenários modificando o tempo de chegada dos trens nos dois sentidos. Por conseguinte, tais cenários propostos foram modelados e simulados no *software* Arena. Como resultado dessas simulações, pôde-se destacar o cenário 3 como o melhor cenário, por apresentar o maior número de viagens em um ano, nos dois sentidos, por apresentar um número pequeno de trens na fila e ter um tempo de atravessamento total do trecho relativamente pequeno.

Sugeriu-se a inclusão de um novo pátio no subtrecho que apresentasse o maior gargalo, ou seja, o maior tempo de atravessamento. Com base no melhor cenário, verificou-se que o subtrecho 4 é o que apresentava gargalo. Por esse subtrecho apresentar-se como gargalo, ter a maior distância de atravessamento e o seu trajeto apresenta um relevo íngreme, decidiu-se acrescentar um novo pátio ao mesmo dividindo-o em dois subtrechos.

A inclusão desse novo subtrecho foi estudada em todos cenários propostos anteriormente, chegando ao cenário 3 como o melhor cenário dentre todos os estudados, pelos mesmos

motivos expostos para o trecho com 13 subtrechos. Através deste, observou-se que o gargalo não foi eliminado, foi apenas transferido do subtrecho quatro para outro subtrecho, não havendo mudanças significativas em relação ao número total de viagens, ao tempo médio de atravessamento e ao número máximo de trens na fila. O cenário considerado inviável, tanto para o trecho com 13 subtrechos como para o trecho com 14 subtrechos, foi o 2, por apresentar o maior tempo médio de atravessamento e ter o maior número de trens na fila, tornado inviável a utilização da linha férrea.

Através das análises dos resultados de todos os cenários estudados, é possível concluir que: comparando o número total de viagens por ano, observou-se que a inclusão de um novo subtrecho não apresentou mudanças significativas, apenas o deslocamento do gargalo do subtrecho quatro para outro subtrecho; para obter apenas um trem em cada pátio, o número de viagens no ano é menor em relação aos outros cenários. Se aumentasse a capacidade do pátio de espera para, pelo menos, seis trens na fila, o número de viagens no ano aumentaria de 3575 para 11519; uma outra possibilidade analisada seria aumentar a capacidade dos pátios e não incluir um novo subtrecho. Em relação à taxa de chegada de trens nos dois sentidos, observou-se que taxa de chegada deveria ser igual ou superior a um trem a cada 45 minutos, pois para valores inferiores a este se observa formação de filas com um número superior a seis trens.

Propõe-se que os desdobramentos do trabalho sejam realizados em duas frentes. Uma delas é o desenvolvimento do custo benefício de cada solução apresentada neste estudo. A outra frente é o desdobramento de um modelo que incorpore decisões de roteamento de trens. Tal modelo seria de grande utilidade, pois permitiria estender a abordagem simulação para a avaliação de performance de trechos com bifurcações, onde há liberdade na definição das rotas dos trens dados pares origem - destino.

6. Referências Bibliográficas

- ANDRADE, E. L. de.** *Introdução à Pesquisa Operacional*. Rio de Janeiro, 2ª Edição, LTC Livros Técnicos e Científicos - Editora S.A., 2000.
- BANKS, J., CARSON II, J. S. NELSON, B. L., NICOL, D. M..** *Discrete-Event System Simulation*. New Jersey, Third Edition, Pearson Education International, 2001.
- BERTAGLIA, P. R.** *Logística e gerenciamento da cadeia de abastecimento*. São Paulo, Editora Saraiva, 2005.
- GUIMARÃES, I. F. G.** *Modelo de Rede de Filas para Avaliação de Desempenho em Trechos Singelos de Malhas Ferroviárias*. Dissertação, Departamento de Engenharia de Produção, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, Brasil, 2005.
- KRUEGER, H.,** *Parametric modeling in rail capacity planning*, Winter Simulation Conference, P.A.Farrington,II, 1194-1200, 1999.
- LEILICH, R. H.** *Application of simulation models in capacity constrained rail corridors*. Winter Simulation Conference, P.A.Farrington, 1125-1133, 1998.
- PRADO, D.** *Usando o Arena em Simulação*. Belo Horizonte, 2ª Edição, Editora de Desenvolvimento Gerencial, 2004.
- SHAMBLIN, J. E.** *Pesquisa Operacional – Uma abordagem básica*. São Paulo, 1ª Edição, Editora Atlas S.A., 1979.
- SHAIN, I.,** *Railway traffic control and scheduling based on inter-train conflict management*, Transportation Research Part B, 39, 511-534, 1999.